昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica，August 2007，50(8)：850－857　ISSN 0454-6296

甘蓝与黄瓜寄主上 B 型烟粉虱和温室白粉虱蜜露糖分、氨基酸和挥发物组分的比较分析

刘万学[1]，杨 勇[1,2]，万方浩[1,*]，金道超[2]

（1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100094；
2. 贵州大学昆虫研究所，贵阳 550025）

摘要：粉虱蜜露是粉虱寄生性天敌搜索寄主的主要利它素源。应用离子色谱分别对甘蓝与黄瓜上 B 型烟粉虱（*Bemisia tabaci* B-biotype）蜜露以及黄瓜上温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 蜜露的接触性利它素糖和氨基酸组分和含量进行了比较研究。结果表明：2 种粉虱在不同寄主植物上的蜜露均富含糖和氨基酸，其中糖含量占绝对优势，甘蓝上 B 型烟粉虱蜜露、黄瓜上 B 型烟粉虱蜜露和黄瓜上温室白粉虱蜜露中的糖含量分别是相应氨基酸含量的 42.5、2.6 和 5.4 倍，其中糖类物质中又以寡糖含量占绝对优势，分别占 89.3%、81.7%和 88.2%。不同寄主植物和粉虱种类显著影响蜜露中糖和氨基酸的组成和含量。其中，甘蓝上 B 型烟粉虱蜜露中的寡糖以二糖占优势，占 97.3%；二糖中又以蔗糖异构糖和松二糖占优势，分别占 52.7%和 35.4%。黄瓜上 B 型烟粉虱蜜露和温室白粉虱蜜露寡糖中以三糖和四糖占优势，分别占 73.1%和 85.4%；优势糖水苏（四）糖和松三糖分别占 40.3%和 26.2%及 49.9%和 27.0%。甘蓝上 B 型烟粉虱蜜露中氨基酸以丙氨酸占优势，含量为 66.5%；而黄瓜上 B 型烟粉虱及温室白粉虱蜜露中氨基酸以甘氨酸含量最高，分别占氨基酸总量的 38.2%和 51.7%。应用 GC-MS 对甘蓝上 B 型烟粉虱蜜露和黄瓜上温室白粉虱蜜露挥发物组分的鉴定结果显示，两种粉虱蜜露中共同含有的主要挥发物为邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯。

关键词：B 型烟粉虱；温室白粉虱；蜜露；氨基酸；糖；挥发物；利它素
中图分类号：Q965　**文献标识码**：A　**文章编号**：0454-6296(2007)08-0850-08

Comparative analysis of carbohydrates, amino acids and volatile components of honeydew produced by two whiteflies *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) feeding cabbage and cucumber

LIU Wan-Xue[1], YANG Yong[1,2], WAN Fang-Hao[1,*], JIN Dao-Chao[2] (1. State Key Laboratory of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China; 2. Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Whitefly honeydew is an important kairomone resource for host-searching of parasitoids. Carbohydrate and amino acid composition of honeydew from the whitefly *Bemisia tabaci* B-biotype feeding on cabbage and cucumber, and from the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* feeding on cucumber was comparatively analyzed with the ion chromatogram. The results showed that honeydew of the both whiteflies contained abundant carbohydrates and amino acids, however, the total carbohydrates were present at absolutely high levels, as 42.5, 2.6 and 5.4 times as the total amino acids in honeydew of three whitefly/host combinations, respectively. And the principal carbohydrate was oligosaccharide, accounting for 89.3%, 81.7% and 88.2% of the total carbohydrates, respectively in their honeydew. The species of whitefly and host plant significantly affected sugar and amino acid composition of honeydew, especially oligosaccharide

---

基金项目：国家重点基础研究发展规划'973'项目(2002CB111400)
作者简介：刘万学，男，1973 年 2 月生，湖南衡阳人，副研究员，从事外来生物入侵机制和控制研究，E-mail：liuwanxue@263.net
* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：wanfh@cjac.org.cn
收稿日期 Received：2007-01-08；接受日期 Accepted：2007-06-28

composition. Disaccharides trehalulose and turanose were predominant oligosaccharides in honeydew from *B. tabaci* B-biotype on cabbage, accounting for 52.7% and 35.4% of the total oligosaccharides, respectively. However, the principal oligosaccharides in honeydew from *B. tabaci* and *T. vaporariorum* on cucumbers were tetrasaccharide stachyose and trisaccharide melezitose, which accounted for 40.3% and 26.2%, 49.9% and 27.0% of the total oligosaccharides, respectively. The predominant amino acids were alanine in honeydew from *B. tabaci* on cabbage (accounting for 66.5% of the total amino acids), glycine in honeydew from *B. tabaci* and *T. vaporariorum* on cucumbers (accounting for 38.2% and 51.7% of the total amino acids, respectively). A principal volatile Bis (2-ethylhexyl) phthalate was found with GC-MS in honeydew from both *B. tabaci* on cabbage and *T. vaporariorum* on cucumber.

Key words: *Bemisia tabaci* B-biotype; *Trialeurodes vaporariorum*; honeydew; amino acid; carbohydrate; volatiles; kairomone

在天敌寻找寄主行为过程中，能否准确对寄主/猎物进行定位主要取决于所利用信息的可靠性和可检测性，毫无疑问，直接来自寄主本身的信息最可靠。目前的研究普遍认为，与寄主有关的化学信息(如寄主诱导的植物挥发物、寄主利它素)和物理信息(如寄主的形状、大小等)对天敌的寄主寻找和定位行为起着非常重要的引诱和导向作用(Dicke, 1994；娄永根和程家安，1997；Turlings and Benrey, 1998)，天敌往往能通过识别这些信息的特异性差异，找到适宜的寄主或猎物。利它素(kairomone)是指由某种生物个体释放并引起它种个体行为反应、对释放者不利而对接受者有利的化学物质(Vinson, 1984；Vet and Dicke, 1992)。寄生蜂利用多种信息寻找和识别寄主，寄主本身产生的化学信息物质利它素就是其中一种重要线索(阎凤鸣，2003)。昆虫蜜露作为一种利它素，通常可被寄生性天敌和捕食性天敌所利用，对天敌的存活、产卵和脂肪体储备以及天敌的寄主搜索行为和寄生/捕食效率具有增效作用(Wäckers, 2000；陆宴辉等，2005)，从而引起了人们对其组分和功能研究的兴趣。

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)均是重要的多食性农业害虫，可危害蔬菜作物、经济作物与粮食作物，导致严重的经济损失(Tsueda and Tsuchida, 1998)。尤其是 B 型烟粉虱，它是近二十年来入侵世界各国并暴发成灾的一种世界性重要害虫(张芝利，2000；褚栋等，2004)。自上世纪 90 年代中后期侵入中国以来，该虫已迅速扩散并在许多地区暴发成灾(陈连根，1997；罗晨等，2000；赵莉等，2000)。丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae)是控制烟粉虱和温室白粉虱若虫期的重要寄生性天敌(Hoddle *et al*., 1998；张世泽等，2003)，前人的研究结果显示，丽蚜小蜂取食烟粉虱蜜露有利于延长寿命和促进卵子的发生和成熟(Burger *et al*., 2004)；接触蜜露或蜜露的存在可导致丽蚜小蜂的停留时间增加，进而增强丽蚜小蜂的搜索能力，提高发现寄主的概率(van Roermund and van Lenteren, 1995；van Lenteren *et al*., 1996；Romeis and Zebitz, 1997)。本研究旨在进一步针对 B 型烟粉虱和温室白粉虱蜜露，比较分析其接触性利它素和挥发性利它素组分，以期为粉虱天敌的寄主寻找和定位行为机理提供基础数据。

1　材料与方法

1.1　试虫饲养和寄主植物培养

B 型烟粉虱采自中国农业科学院蔬菜花卉研究所，实验期分别在黄瓜 *Cucumis sativus* 和甘蓝 *Brassica pekinensis* 上饲养；温室白粉虱来自中国农业科学院品资所温室，以黄瓜为寄主进行饲养。甘蓝品种为京丰 1 号，番茄品种为中蔬 5 号，黄瓜品种为中农 21 号，种子均购自中国农业科学院蔬菜花卉研究所。所有试虫均分别在温室内隔离饲养，温室条件：光周期 14L:10D，光照强度 > 1 000 lx，温度 25 ± 3℃，相对湿度 60% ~ 80%。

1.2　样品的来源及预处理

1.2.1　粉虱蜜露中糖和氨基酸含量及成分测定前的样品收集和处理：参考 Byrne 和 Miller(1990)以及 Byrne 等(2003)的方法，分别同时收集 6 ~ 8 叶期黄瓜苗上的烟粉虱和白粉虱蜜露，以及 6 ~ 8 叶期的甘蓝苗上的烟粉虱蜜露。即分别在受害的寄主植物叶片下放置一张铝箔纸，放置时间为 48 h，分别收集相应的寄主植物叶片上滴落的粉虱蜜露露斑，经过称量，再用去离子水冲洗，其洗脱液再用玻璃纤维滤纸

进行过滤以去除其中的杂质。其水溶液再进行冷冻干燥法去除水分，并通过添加去离子水最终分别配成 0.02 g/mL 的样品溶液，置于冰箱中保存备用。进样前分别稀释 100、1 000 和 10 000 倍，然后进行离子色谱仪分离测定。取样重复 3 次。

1.2.2 粉虱蜜露中挥发物测定的样品收集和处理：采用 1.2.1 节的方法分别收集甘蓝上 B 型烟粉虱蜜露和黄瓜上温室白粉虱蜜露蜜斑各 0.1 g 于 2 mL 的玻璃样品瓶中，然后注入 1.5 mL 的二氯甲烷封闭 1 h，将用移液管改进过的吸附管插入样品瓶瓶口，调整旋转使之接触处有良好的封闭性，微热让二氯甲烷带着样品提取物质只经吸附管通过，从而达到被吸附目的。吸附管内装 150 mg Super-Q 吸附剂（美国色谱科 Supleco 公司），待样品瓶中二氯甲烷挥发完毕，再用 1 mL 的二氯甲烷洗脱吸附管浓缩样品至 0.2 mL 后置于 –20℃冰箱备用。取样重复 3 次。

1.3 粉虱蜜露中糖、氨基酸组成和含量的检测方法

1.3.1 化学试剂：氨基酸标准品，生化级标准，上海康达生物制品有限公司。葡萄糖、果糖、蔗糖、乳糖、水苏糖、海藻糖、岩藻糖、棉子糖和松二糖标准品，Sigma 公司。无水醋酸钠（AAA-Direct Certified，Dionex，P/N 05932）。氢氧化钠（优级纯，> 99%），氨水（25%，分析纯），盐酸（36%，优级纯），甲酸（88%，分析纯），叠氮化钠，均购自北京化学试剂公司。Styrene DVB 003x7 强酸性阳离子交换树脂（直径 0.3 ~ 0.4 mm，交换容量为 1.8 mmol/mL）。

1.3.2 仪器设备：Dionex BioLC 色谱仪包括以下部件：GS50 四元梯度泵，带在线脱气；ED50A 电化学检测器（金工作电极，pH/Ag/AgCl 参比电极，钛对电极）；AS50 自动进样器（进样体积 25 mL）；LC30 柱温箱（30℃）；Chromeleon 6.5 色谱工作站；超纯水设备（Barnstead，IA，美国）：中国科学院生态中心提供。气相色谱-质谱联用仪（HP5890，MS5972）：中国农业科学院中日农业可持续发展中心公共实验室提供。电子天平（Sartorius，Bp211D，德国）。

1.3.3 色谱分离和检测条件：氨基酸的分离使用 Dionex AminoPac PA10 阴离子交换柱，包括分析柱（250 mm × 2 mm i.d.）和保护柱（40 mm × 2 mm i.d.）。柱温控制为 30℃。色谱流路的 A 通道为水，B 通道为 250 mmol/L NaOH 淋洗液，C 通道为 1 mol/L 的 NaAc 淋洗液。淋洗液流速为 0.25 mL/min。进样体积设定为 25 mL，采用标准品进行定量定性分析。

1.4 粉虱蜜露挥发性化合物分析和鉴定方法

采用 GC-MS 对两种粉虱蜜露和若虫挥发性化合物进行分析。分析条件为：HP5890 工作站，毛细管柱为极性柱 DB-5MS（膜厚 0.25 μm，长 30 m，内径 0.25 mm）。气谱条件：进样口温度 230℃，不分流进样。连接口温度 180℃，程序升温，45℃ 保持 3 min，每分钟升温 5℃，至 230℃，保留 5 min。氦气流速为 1 cm/s。每次进样 1 μL。采用标准谱库对照的方法对化学组分进行定性，用挥发物峰面积进行相对定量和比较。

2 结果与分析

2.1 粉虱蜜露中糖分和氨基酸含量及成分的分析与鉴定

从表 1 可以看出：(1)粉虱蜜露中含有丰富的糖和氨基酸，单糖主要有葡萄糖和果糖，二糖有蔗糖异构糖、松二糖、麦芽糖和蔗糖，三糖有松三糖和棉子糖，四糖有水苏糖；主要氨基酸有甘氨酸、丙氨酸和谷氨酰胺。总体而言，蜜露中糖含量占绝对优势。甘蓝上 B 型烟粉虱蜜露、黄瓜上 B 型烟粉虱蜜露和黄瓜上温室白粉虱蜜露中糖的含量分别是相应氨基酸含量的 42.5、2.6 和 5.4 倍；其中糖类物质中又以寡糖含量占绝对优势，分别占糖类物质的 89.3%、81.7%和 88.2%。(2)不同的寄主植物显著影响粉虱蜜露中糖和氨基酸的组成和含量：甘蓝上烟粉虱蜜露与黄瓜上烟粉虱和白粉虱蜜露中的单糖（如葡萄糖和果糖）含量尽管组成比例有差异，但单糖总糖含量差异不大，分别为 10.41%、13.17%和 9.96%。甘蓝上烟粉虱蜜露中的寡糖以二糖占优势，占寡糖总量的 97.25%；二糖中又以蔗糖异构糖和松二糖占优势，分别占二糖含量的 54.18%和 36.41%。甘蓝上烟粉虱蜜露中的主要二糖蔗糖异构糖、松二糖和麦芽糖显著大于黄瓜上烟粉虱和白粉虱蜜露中的相应含量，其中前者的蔗糖异构糖和麦芽糖分别是后两者的 8.0 和 3.9 倍及 23.1 和 1.8 倍；且后两者均未检测到松二糖；而其他一些二糖含量则表现为前者显著低于后者。黄瓜上烟粉虱蜜露和白粉虱蜜露以三糖和四糖占优势，分别占寡糖总量的 73.07%和 85.44%；其中黄瓜上烟粉虱蜜露和白粉虱蜜露中的优势糖水苏（四）糖和松三糖分别占三糖和四糖总量的 55.19% 和 35.86% 及 58.47% 和 31.57%；黄瓜上烟粉虱蜜露和白粉虱蜜露中松三糖的含量分别是甘蓝上烟粉虱蜜露中含量的 5.3 倍和 10.1 倍，而棉子糖和水苏糖均未在甘蓝上的烟粉虱蜜露中检测到。甘蓝上烟粉虱蜜露中的氨基酸含

量均显著低于黄瓜上烟粉虱和白粉虱蜜露中相应含量；其中甘氨酸在前者未检测到，而在后二者中含量最高，分别占氨基酸总量的 38.2% 和 51.7%；甘蓝烟粉虱蜜露中氨基酸以丙氨酸占优势，占氨基酸总量的 66.5%。(3)同种寄主植物上不同粉虱种类的蜜露组成和含量也存在差异：就单糖而言，黄瓜上温室白粉虱蜜露中单糖总量稍大于烟粉虱；黄瓜上烟粉虱蜜露和白粉虱蜜露中二糖总量差异不大，但单糖组成比例梯度存在差异，其中优势糖类蔗糖异构糖为前者大于后者，而蔗糖和麦芽糖为后者大于前者；白粉虱蜜露中的三糖和四糖含量均显著大于烟粉虱蜜露中的含量，其中前者中松三糖、棉子糖和水苏糖分别是后者的 1.9、2.4 和 2.3 倍；黄瓜上烟粉虱蜜露中氨基酸总量明显大于温室白粉虱蜜露，但谷氨酰胺和甘氨酸含量为后者大于前者，而丙氨酸、缬氨酸和丝氨酸含量则为前者大于后者。综合分析显示，影响粉虱蜜露中糖分和氨基酸组成和含量的因素总体表现为寄主植物的作用大于粉虱种类造成的影响。

表 1　不同寄主植物上 B 型烟粉虱和温室白粉虱蜜露中糖和氨基酸组成与含量

Table 1　Components and content of carbohydrates and amino acids from honeydew produced by *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum* feeding on different host plants

组分 Components	甘蓝上烟粉虱蜜露 Honeydew of *B. tabaci* collected from cabbage leaves		黄瓜上烟粉虱蜜露 Honeydew of *B. tabaci* collected from cucumber leaves		黄瓜上温室白粉虱蜜露 Honeydew of *T. vaporariorum* collected from cucumber leaves	
	含量 Content (mg/L)	百分比 Percent (%)	含量 Content (mg/L)	百分比 Percent (%)	含量 Content (mg/L)	百分比 Percent (%)
岩藻糖 Fucose	3.1 ± 1.3	0.01	89.7 ± 4.6	0.41	7.9 ± 1.9	0.02
葡萄糖 Glucose	762.2 ± 24.7	2.85	1 657.2 ± 47.6	7.52	1 435.8 ± 36.6	4.46
果糖 Fructose	2 019.8 ± 89.4	7.55	1 156.3 ± 23.8	5.24	1 762.3 ± 43.5	5.47
单糖累计 Total of monosaccharides	2 785.2 ± 45.6	10.41	2 902.7 ± 34.2	13.17	3 205.7 ± 37.9	9.96
海藻糖 Trehalose	95.2 ± 4.8	0.36	305.9 ± 9.4	1.39	101.2 ± 3.8	0.31
乳糖 Lactose	70.3 ± 3.9	0.26	177.2 ± 6.3	0.80	282.8 ± 6.4	0.88
蔗糖 Sucrose	39.6 ± 2.3	0.15	986.7 ± 19.7	4.48	1 522.3 ± 46.7	4.73
蔗糖异构糖 Trehalulose	12 303.9 ± 268.4	45.99	1 538.3 ± 49.1	6.98	531.7 ± 16.2	1.65
松二糖 Turanose	8 268.1 ± 131.7	30.91	未检到 Not detected	未检到 Not detected	未检到 Not detected	未检到 Not detected
麦芽糖 Maltose	1 933.7 ± 56.3	7.23	494.1 ± 17.3	2.24	1 050.2 ± 36.8	3.26
二糖累计 Total of disaccharides	22 710.8 ± 197.4	84.89	3 502.2 ± 38.4	15.88	3 488.2 ± 37.1	10.84
松三糖 Melezitose	642 ± 21.3	2.40	3 407 ± 98.3	15.45	6 463 ± 210.3	20.08
棉子糖 Raffinose	未检到 Not detected	未检到 Not detected	851 ± 36.1	3.86	2 041 ± 63.2	6.34
水苏糖 Stachyose	未检到 Not detected	未检到 Not detected	5 242 ± 261.2	23.78	11 968 ± 341.6	37.19
寡糖累计 Total of tri- and tetrasaccharides	642 ± 21.3	2.40	9 500 ± 252.6	43.09	20 472 ± 264.8	63.61
谷氨酰胺 Glutamine	171.1 ± 7.6	0.64	228.2 ± 7.4	1.03	689.8 ± 20.4	2.14
丙氨酸 Alanine	408.2 ± 15.2	1.53	1 073.9 ± 42.6	4.87	645.1 ± 19.2	2.00
甘氨酸 Glycine	未检到 Not detected	未检到 Not detected	2 344.3 ± 91.2	10.63	2 594.2 ± 82.4	8.06
缬氨酸 Valine	30.8 ± 1.7	0.12	1 605.7 ± 63.9	7.28	720.0 ± 22.4	2.24
丝氨酸 Serine	4.0 ± 1.1	0.01	890.1 ± 25.4	4.04	370.2 ± 10.8	1.15
氨基酸总量 Total of amino acids	614.1 ± 9.7	2.30	6 142.2 ± 68.3	27.86	5 019.3 ± 68.4	15.59
累计 Total of carbohydrates and amino acids	26 752.2 ± 234.6	100	22 047.1 ± 196.5	100	32 184.8 ± 241.7	100

注 Notes：表中数据为平均值 ± *SD*（$n = 3$）。The data in the table are mean ± *SD*（$n = 3$）.

2.2　粉虱蜜露挥发性信息化合物组分

在甘蓝上的 B 型烟粉虱蜜露中共检测到 3 种挥发性化合物(图 1)，分别为邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯(分子式：$C_{24}H_{38}O_4$；保留时间：36.35)、十四(烷)酸(分子式：$C_{14}H_{28}O_2$；保留时间：34.90)和二十六烷($C_{26}H_{54}$；保留时间 44.12)，其中十四(烷)酸通过

与对照比对为甘蓝叶片的挥发性化合物。邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯的相对含量最高,峰面积百分比为88.2%。在黄瓜上的温室白粉虱蜜露中仅检测到一种挥发物,即邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯(图2),与在甘蓝上的B型烟粉虱蜜露中检测到的化合物为共有化合物。

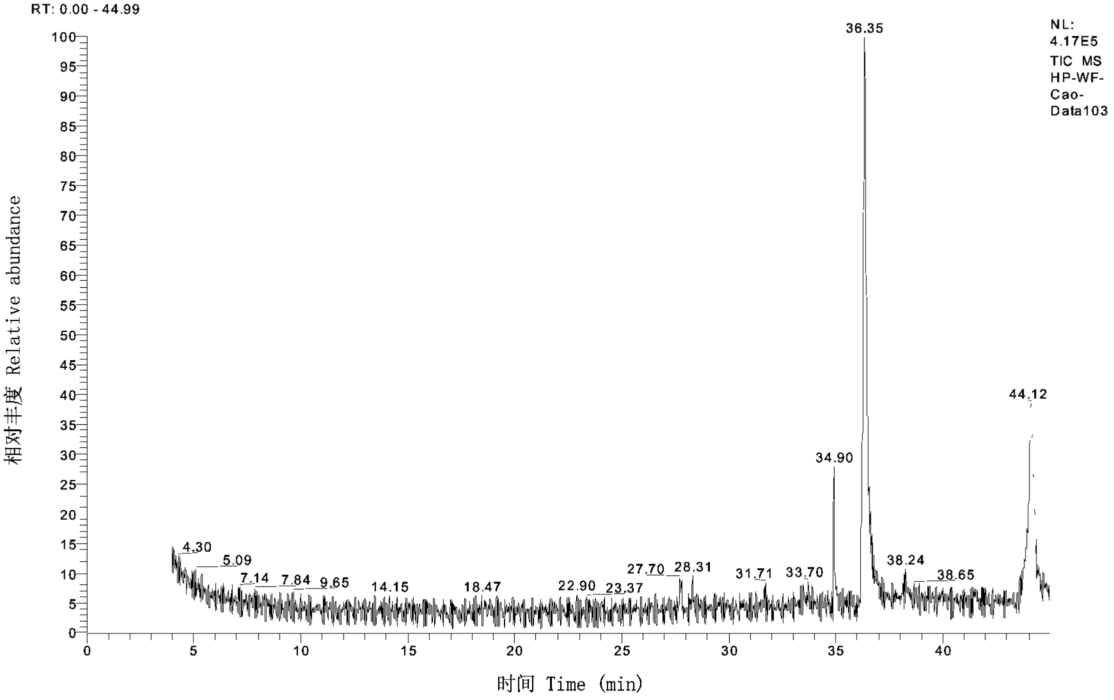

图1 甘蓝上B型烟粉虱蜜露挥发物的GC-MS检测图谱

Fig. 1 GC-MS analysis of honeydew volatiles of *Bemisia tabaci* feeding cabbage leaves

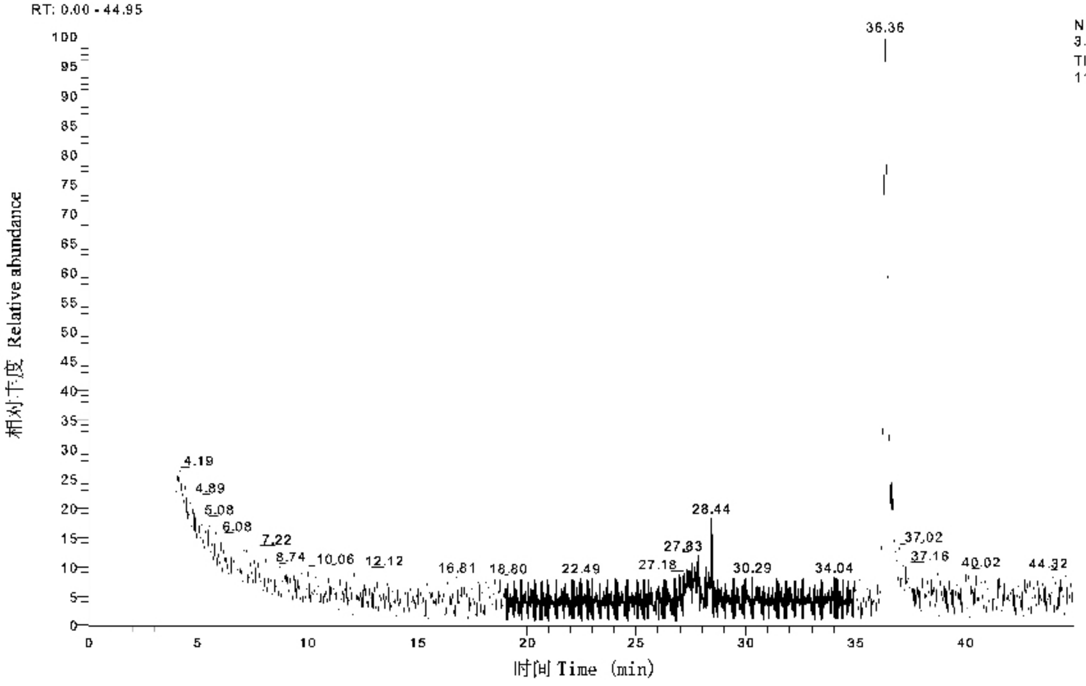

图2 黄瓜上温室白粉虱蜜露挥发物的GC-MS检测图谱

Fig. 2 GC-MS analysis of honeydew volatiles of *Trialeurodes vaporariorum* feeding cucumber leaves

3 讨论

昆虫蜜露的利它作用，一是由于蜜露中富含大量的接触性利它素，如糖、氨基酸和微量元素等多种营养物质，可被一些天敌昆虫用作补充营养以提高其寿命和繁殖力（England and Evans，1997；Eijs *et al*.，1998）。本研究结果显示不同寄主植物上2种粉虱蜜露均富含糖类物质和氨基酸，由此推断这些营养物质可能对粉虱天敌的寿命和卵子发生起到了补充营养的作用，但具体是蜜露中何种组分起主要作用及其作用机理尚需深入研究。二是由于蜜露通常与寄主存在位置有很大的相关性，蜜露作为天敌的食物源和利它素源暗示着天敌对食物的搜索可能对寄主的搜索起到了重要的补充作用（Wäckers，2000）。关于蜜露对天敌具有近距离引诱作用的行为研究较多，但由于挥发性物质含量甚微，对其挥发物组分的分析和鉴定的研究较少（Wickremasinghe and van Emden，1992）。本实验结果显示两种粉虱蜜露中均含有邻苯二甲酸二（2-乙基）己酯，且不受粉虱种类和寄主植物的影响，该物质可能在粉虱天敌的寄主搜索和食物寻找行为中起重要的导向作用。

由于蜜露中营养成分对天敌的利它作用，从而引起了人们对其利它组分、组分的产生及功能的深入探究。Hendrix等（1992）在比较研究3种粉虱和4种蚜虫蜜露中的糖分组成时发现，其糖分组成受寄主植物和昆虫的种类共同决定，但昆虫的种类差异所起的作用更大；Byrne等（2003）在比较不同的同翅目昆虫蜜露中蔗糖异构糖和其他寡糖含量时也得到类似的结论。本实验结果显示，不同的寄主植物和粉虱种类显著影响蜜露中糖和氨基酸的组分和含量，尤其是影响寡糖和氨基酸的组成，且寄主植物的影响要大于粉虱不同种类对蜜露组成的影响，如甘蓝上B型烟粉虱蜜露中的寡糖以二糖占优势，而黄瓜上B型烟粉虱蜜露和温室白粉虱蜜露寡糖中以三糖和四糖占优势。这可能受黄瓜韧皮部汁液初始糖分组成的影响。另外，Byrne和Miller（1990）发现，取食一品红 *Euphorbia pulcherrima* 和南瓜 *Cucurbita argyrosperma* 叶片的烟粉虱蜜露中糖和氨基酸种类和含量比本实验结果多，而糖种类比本实验结果少，这可能与不同寄主植物以及检测仪器设备等因素有关。

另外，尽管寄生蜂和捕食者能利用蜜露的事实已经被反复验证并被普遍接受，但从进化角度来看，蜜露对它的产生者（刺吸性昆虫）本身就代表了潜在适合度成本（fitness costs），这些成本可能对刺吸性昆虫产生强烈的选择压以促使他们改变蜜露组成（Wäckers and Swaans，1993）。如Byrne和Miller（1990）发现，烟粉虱在摄取植物韧皮部汁液过程中能自身合成一些寡糖和特定的氨基酸，如取食一品红和南瓜的烟粉虱蜜露中优势糖为蔗糖异构糖，但该糖在两种寄主植物韧皮部中均不存在；一品红和南瓜韧皮部均不含有的6种氨基酸在烟粉虱2个品系的蜜露中却含量丰富。本研究结果还显示，受寄主植物南瓜和粉虱种类的影响，在甘蓝上烟粉虱蜜露中以二糖蔗糖异构糖和松二糖占优势（47.1%和31.6%），但黄瓜上烟粉虱蜜露和白粉虱蜜露中蔗糖异构糖含量均相对较低（9.7%和2.0%），且未检测到松二糖；黄瓜上烟粉虱蜜露和温室白粉虱蜜露中水苏（四）糖和松三糖含量丰富，分别占糖含量的33.0%和21.4%及44.1%和23.8%，而在甘蓝上B型烟粉虱蜜露中松三糖含量较低，且未检测到水苏糖的存在。同样，在其他研究结论中，也发现昆虫蜜露中的寡糖受寄主植物和昆虫种类共同决定（Hendrix *et al*.，1992；Byrne *et al*.，2003），同种植食者在不同寄主植物上的蜜露糖分组成亦显著不同（Fischer and Shingleton，2001）。

由于刺吸性昆虫能自身合成特定的寡糖和氨基酸并在昆虫蜜露中丰富存在，诱发了人们对昆虫合成型糖和合成型氨基酸功能的探究。目前研究聚焦在蔗糖异构糖和松三糖，因为蔗糖异构糖是大多数粉虱，尤其是烟粉虱蜜露中的主要糖分（Byrne *et al*.，2003），而松三糖是昆虫蜜露中最普遍含有的昆虫合成糖（Wäckers，2000），这两种寡糖也是本实验三种粉虱蜜露中的主要糖分。目前的证据表明，粉虱蜜露中蔗糖异构糖的产生和粉虱体内的内生菌的存在有很强的联系（Davidson *et al*.，1994，2000）。尽管许多因素（如内生菌、温度、光强、成虫种群密度、昆虫年龄和昆虫发育阶段等）影响粉虱蜜露中蔗糖异构糖的含量（Henneberry *et al*.，1999），但最重要的影响因子为食物中蔗糖浓度，蔗糖异构糖是从蔗糖转化而来（Byrne and Miller，1990；Hendrix *et al*.，1992；Isaacs *et al*.，1998），即食物中蔗糖含量高，则蜜露中蔗糖异构糖含量也高；蜜露中蔗糖异构糖含量高，则蔗糖含量低。本实验结果也印证了这一结论，如甘蓝上B型烟粉虱蜜露中蔗糖含量最低，但蔗糖异构糖含量最高；而黄瓜上温室白粉虱蜜露中蔗糖异构糖含量最低，但蔗糖含量最高。关

于昆虫蜜露中合成型寡糖的功能，目前虽有许多推断，但较为精确的作用还不清楚。已有的研究认为，昆虫合成的寡糖（如蔗糖异构糖、松三糖）具有调节植物韧皮部的渗透压和昆虫血淋巴的渗透压的功能（Wilkinson *et al*.，1997；Ashford *et al*.，2000）。Wäckers（2000）从另一个角度认为，蜜露中的这些合成糖有助于蜜露对天敌的营养适宜性作用和利它适宜性作用的最小化，这些寡糖通过三个方面的机制降低蜜露作为食物源的适合性。首先，寡糖不容易象花蜜一样诱发取食反应，如 Romeis 和 Zebitz（1997）研究发现，丽蚜小蜂不能对被测试的松三糖和海藻糖产生反应。第二，蜜露糖如松三糖、棉子糖比蔗糖能迅速地结晶，蔗糖异构糖比蔗糖难于水解，从而使它们很难被寄生蜂取食和吸收。第三，寡糖虽能提高寄生蜂寿命，但是比单糖程度低（Wäckers，2001）。尽管如此，昆虫合成型寡糖在对刺吸性昆虫本身和天敌的次适宜性研究方面还有待于大量详实的研究，因为不同的寄主植物和昆虫种类影响蜜露的组成，也就形成了对植食者本身和天敌的适宜性分化。所以，关于粉虱蜜露组成和含量的差异及其对天敌的适宜性作用相关性及其机理还有待深入研究。

参 考 文 献（References）

Ashford DA，Smith WA，Douglas AE，2000. Living on a high sugar diet：the fate of sucrose ingested by a phloem-feeding insect，the pea aphid *Acrythosiphon pisum*. *Journal of Insect Physiology*，46：335－341.

Burger JMS，Hemerik L，van Lenteren JC，Vet LEM，2004. Reproduction now or later optimal host-handling strategies in the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*. *Oikos*，106：117－130.

Byrne DN，Hendrixy DL，Williams LH，2003. Presence of trehalulose and other oligosaccharides in hemipteran honeydew，particularly Aleyrodidae. *Physiological Entomology*，28：144－149.

Byrne DN，Miller WB，1990. Carbohydrate and amino acid composition of phloem sap and honeydew produced by *Bemisia tabaci*. *Journal of Insect Physiology*，36（6）：433－439.

Chen LG，1997. The damage and morphological variations of *Bemisia tabaci*（Gennadius）on ornamental plants. *J. Shanghai Agri. College*，15（3）：186－189.［陈连根，1997. 烟粉虱在园林植物上为害及其形态变异. 上海农学院学报，15（3）：186－189］

Chu D，Zhang YJ，Cong B，Xu BY，Wu QJ，2004. The invasive mechanism of worldwide important pest，*Bemisia tabaci*（Gennadius）biotype B. *Acta Entomologica Sinica*，47（3）：400－406.［褚栋，张友军，丛斌，徐宝云，吴青君，2004. 世界性重要害虫 B 型烟粉虱的入侵机制. 昆虫学报，47（3）：400－406］

Davidson EW，Rosell RC，Hendrix DL，2000. Culturable bacteria associated with the whitefly，*Bemisia argentifolii*（Homoptera：Aleyrodidae）. *Florida Entomologist*，83：159－171.

Davidson EW，Segura BJ，Steele T，Hendrix DL，1994. Microorganisms influence the composition of honeydew produced by the silverleaf whitefly，*Bemisia argentifolii*. *J. Insect Physiol*.，40（12）：1 069－1 076.

Dicke M，1994. Local and systemic production of volatile herbivore induced terpenoids：their role in plant carnivore mutualism. *Journal of Plant Physiology*，143：465－472.

Eijs IEM，Ellers J，van Duinen GJ，1998. Feeding strategies in drosophilid parasitoids：the impact of natural food resources on energy reserves in females. *Ecological Entomology*，23：133－138.

England S，Evans EW，1997. Effects of pea aphid（Homoptera：Aphididae）honeydew on longevity and fecundity of the alfalfa weevil（Coleoptera：Curculionidae）parasitoid *Bathyplectes curculionis*（Hymenoptera：Ichneumonidae）. *Environmental Entomology*，26：1 437－1 441.

Fischer MK，Shingleton AW，2001. Host plant and ants influence the honeydew sugar composition of aphids. *Functional Ecology*，15：544－550.

Hendrix DL，Wei Y，Leggett JE，1992. Homopteran honeydew sugar composition is determined by both the insect and plant species. *Comp. Biochem. Physicl*.，101B：23－27.

Henneberry TJ，Jech L，Hendrix DL，Steele T，1999. *Bemisia argentifolii*（Homoptera：Aleyrodidae）：factors affecting adult and nymph honeydew production. *Southwestern Entomologist*，24：207－ 231.

Hoddle MS，van Driesche RG，Sanderson JP，1998. Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*. *Annu. Rev. Entomol*.，43：645－669.

Isaacs R，Byrne DN，Hendrix DL，1998. Feeding rates and carbohydrate metabolism by *Bemisia tabaci*（Homoptera：Aleyrodidae）on different quality phloem saps. *Physiological Entomology*，23：241－ 248.

Lou YG，Cheng JA，1997. Interactions among host plants，phytophagous insects and natural enemies and relevant research methods. *Chin. J. Appl. Eco*.，8（3）：325－331.［娄永根，程家安，1997. 植物-植食性昆虫-天敌三营养层次的相互作用及其研究方法. 应用生态学报，8（3）：325－331］

Lu YH，Shi XL，Zhong CX，Wang H，Chen J，Yu YS，Yang YZ，2005. Impacts of honeydew on the growth，fecundity and foraging behavior of natural enemies. *Chinese Bulletin of Entomology*，42（4）：379－385.［陆宴辉，史晓利，仲崇翔，王红，陈建，余月书，杨益众，2005. 蜜露对天敌昆虫生长繁殖及搜寻行为的影响. 昆虫知识，42（4）：379－385］

Luo C，Zhang JM，Shi BC，Zhang F，Zhang ZL，2000. Preliminary investigation of host-plant of *Bemisia tabaci*（Gennadius）in Beijing. *Beijing Agri. Sci*.，18（Suppl.）：42－47.［罗晨，张君明，石宝才，张帆，张芝利，2002. 北京地区烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Gennadius）调查初报. 北京农业科学，18（增刊）：42－47］

Romeis J，Zebitz CPW，1997. Searching behaviour of *Encarsia formosa* as mediated by colour and honeydew. *Entomologia Experimentalis et Applicata*，82（3）：299－309.

Tsueda H，Tsuchida K，1998. Differences in spatial distribution and life history parameters of two sympatric whiteflies，the greenhouse whitefly（*Trialeurodes vaporariorum* Westwood）and the silverleaf whitefly（*Bemisia argentifolii* Bellows & Perring）under greenhouse and

laboratory conditions. *Applied Entomology and Zoology*, 33: 379 – 383.

Turlings TCJ, Benrey B, 1998. Effects of plant metabolites on the behavior and development of parasitic wasps. *Ecoscience*, 5(3): 321 – 333.

van Lenteren JC, Roermund HJW, Sutterlin S, 1996. Biological control of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) with the parasitoid *Encarsia formosa*: how does it work. *Biological Control*, 6 (1): 1 – 10.

van Roermund HJW, van Lenteren JC, 1995. Foraging behaviour of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa* on tomato leaflets. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 76(3): 313 – 324.

Vet LEM, Dicke M, 1992. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. *Annual Review of Entomology*, 37: 141 – 172.

Vinson SB, 1984. The chemical ecology of the parasitoid host relationship. In: Bell WJ, Carde RT eds. Chemical Ecology of Insects. London: Chapman and Hall.

Wäckers FL, Swaans CPM, 1993. Finding floral nectar and honeydew in *Cotesia rubecula*: random or directed? *Proc. Exp. Appl. Entomol.*, 4: 67 – 72.

Wäckers FL, 2000. Do oligosaccharides reduce the suitability of honeydew for predators and parasitoids? A further facet to the function of insect-synthesized honeydew sugars. *Oikos*, 90: 197 – 201.

Wäckers FL, 2001. A comparison of nectar- and honeydew sugars with respect to their utilization by the hymenopteran parasitoid *Cotesia glomerata*. *Journal of Insect Physiology*, 47: 1 077 – 1 084.

Wickremasinghe MGV, van Emden HF, 1992. Reactions of adult female parasitoids, particularly *Aphidius rhopalosphi*, to volatile chemical cues from the host plants of their aphid prey. *Physiol. Entomol.*, 17: 297 – 304.

Wilkinson TL, Ashford DA, Pritchard J, Douglas AE, 1997. Honeydew sugars and osmoregulation in the pea aphid *Acyrthosiphon pisum*. *Journal of Experimental Biology*, 200: 2 137 – 2 143.

Yan FM, 2003. Chemical Ecology. Beijing: Science Press. 80 – 81. [阎凤鸣, 2003. 化学生态学. 北京：科学出版社. 80 – 81]

Zhang SZ, Wan FH, Zhang F, Hua BZ, 2003. Parasitic suitability of two strains of *Encarsia formosa* on *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Biological Control*, 19(4): 149 – 153. [张世泽,万方浩,张帆,花保桢, 2003. 丽蚜小蜂两个品系对烟粉虱若虫的寄生适宜性. 中国生物防治, 19(4): 149 – 153]

Zhang ZL, 2000. Some thoughts to the outbreaks of tobacco whitefly. *Beijing Agri. Sci.*, 18(Suppl.): 1 – 3. [张芝利, 2000. 关于烟粉虱大发生的思考. 北京农业科学, 18(增刊): 1 – 3]

Zhao L, Zhang R, Xiao Y, Cui YY, Huang W, 2000. Tabacco whitefly (*Bemisia tabaci*): a new insect pest was founded on the cotton in Xinjiang. *Xinjiang Agri. Sci.*, (1): 27 – 28. [赵莉, 张荣, 肖艳, 崔元玗, 黄伟, 2000. 危害棉花的重要害虫烟粉虱在新疆发现. 新疆农业科学, (1): 27 – 28]

（责任编辑：黄玲巧）